

# 水深火热

## 全球变暖损害珊瑚礁

2005年夏天，正当大西洋飓风袭击从古巴到墨西哥的海岸线时，东加勒比海正处于酷热的太阳烘烤下，没有一丝微风降低气温。游客和居民在高温中无精打采，而在海面下，海洋生命尤其是珊瑚也在经受损害。风平浪静的天气到来，就像不寻常的温水开始在这一地区汇集。正常情况下，东来的信风会搅动海面帮助降温。但是由于一股史无前例的热浪在五月份到来——科学家称是气候变化相关因素联合作用的结果——东加勒比海的水温升高并维持在较高温度达数月，水温到九月份截止高于150年来的水温记录。

高温扰乱了珊瑚生物正常情况下与一种称为虫黄藻的藻类共生关系。虫黄藻通过光合作用为珊瑚提供必需的营养素，特别是碳类营养素，同时自己也获得了隐蔽场所和珊瑚礁提供的日光。这种藻类也向自身无色的珊瑚传递颜色。但是随着海水温度上升，虫黄藻消失了，使得它们丧失碳营养素的宿主处于饥饿状态。在珊瑚脱色的现象中，珊瑚礁变成雪白色——珊瑚礁下经过数个世纪形成的石头状结构的颜色。

随着炎热期的进展，留下了加勒比海从未见过类似情况的脱色珊瑚礁的痕迹。到这一年年底，维尔京岛90%的珊瑚和法属西印度群岛52%的珊瑚受到影响。

珊瑚脱色并不总是致命的——如果水温及时下降，虫黄藻可能会出现，可使珊瑚恢复原状。但是在东加勒比海的部分区域，珊瑚礁从未得到过这样的机会。几乎在恢复一开始，它们就被疾病袭击，影响一系列珊瑚物种降至60英尺。到2007年，维尔京岛约60%的珊瑚和波多黎各La Parguera自然保护区53%的珊瑚死亡——一场空前的惨剧。

东加勒比海爆发的疾病是世界上存在约数百年的珊瑚疾病。长久以来遭受来自陆地的污染、栖息地破坏和过度捕捞的影响，现在珊瑚礁也必须随着气候变化而改变，这加速了它们在全球的衰减。这将生物多样性财富置于危险之中。珊瑚礁支撑着多达800种珊瑚、4000种鱼类和不计其数的无脊椎动物。许多科学家推测，以珊瑚礁为栖息地的成千上万的物种可能仍未经过仔细的分类。

这些衰退现象对人类健康来说和对海洋生命一样可能是灾难性的。根据联合国环境规划署的数据，全球范围内，珊瑚礁为约十亿人提供每年1/4的捕鱼量和食物。珊瑚礁保护海岸线降低风浪冲击的影响，没有珊瑚礁的保护，随着气候改变、海平面上升，风浪冲击可能会更强烈。如果珊瑚礁失去吸引力，旅游业——热带海岸地区经济的主要来源，在年收入中高达数十亿美元——可能会受到损失。

珊瑚礁也是治疗人类疾病药物的长期来源。由于附着于珊瑚



珊瑚脱色，维尔京岛国家公园。2005年的脱色事件是东加勒比海史无前例的珊瑚死亡的前奏。



礁上，珊瑚和其他固定在珊瑚礁上的海洋动物不能逃避捕食者，因此它们运用一系列化合物来制止捕猎者、对抗疾病、阻碍竞争性生物体的生长。两种抗病毒药物（腺嘌呤阿糖苷和叠氮胸苷）及抗癌剂阿糖胞苷是用从加勒比海珊瑚礁海绵中提取的化合物制成的。另一种从印度洋海兔中分离、称为多拉司他汀10的产品已被研究作为乳腺癌、肝癌和白血病的治疗药物。专家称，总有一天，更多救命的药物和有效的化学制品会从珊瑚礁栖息生物中得到。

美国圣约翰维尔京岛的美国地理勘察协会海洋生态学家Caroline Rogers称，在某种程度上，拯救这些生态系统是必须的。“出于经济、生态、美学甚至精神上的原因，我们不得不拯救它们。”她说，“人们需要感觉到与比他们更大的自然和系统联系在一起。珊瑚礁是令人有敬畏感的—我们正在失去我们不太了解的某些事物。”

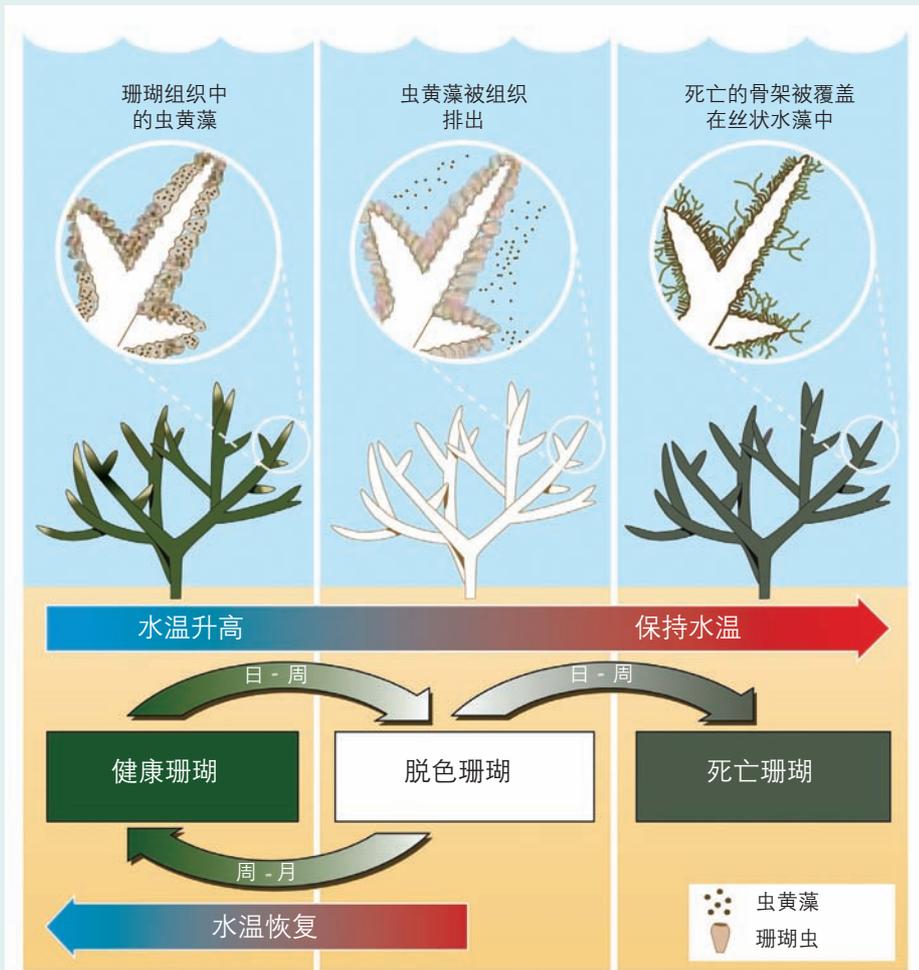
#### 来自气候变化的威胁

适宜珊瑚生活的温度幅度很小，这使它们常陷于困境。由于热带海水温度稳定，它们在险境中生活了数千年。但现在情况已不

再是这样了。根据联合国政府间气候变化专门委员会（IPCC）的数据，二十世纪中，全球海水温度平均上升了近1°C。同时，世界范围内珊瑚脱色和疾病事件以越来越高的频率出现。1997~1998年，世界上最大的珊瑚脱色事件曾毁灭了世界上16%的珊瑚礁，在巴林、马尔代夫、斯里兰卡、新加坡和坦桑尼亚的部分地区，死亡率接近90%。

如果到本世纪中期大气中的二氧化碳含量从目前的380 ppm上升到450~500 ppm，如果温室气体排放未被遏制、IPCC的预测成真，则海水平均温度将会又上升2°C—对大多数珊瑚物种来说不能忍受的温度上升。澳大利亚昆士兰大学海洋研究中心主任Ove Hoegh-Guldberg解释说，大气二氧化碳被海水吸收转化成碳酸，碳酸降低海水的pH值，通过溶解威胁珊瑚礁的结构。目前，科学家警告称，如果珊瑚种群的减少超过恢复速度，几十年内珊瑚礁可能遭受灾难性的变化。

Rogers和同事Jeff Miller（圣约翰国家公园管理处的渔业生物学家）目睹了始于2005年的维尔京岛珊瑚礁崩溃。Miller的工作要求



珊瑚应激阶段。如果水温升高超过临界值，特别是在一片大的水域中，珊瑚将开始失去它们的虫黄藻。下面的白色结构会变得可见。在这个阶段，如果应激条件迅速消退，脱色的珊瑚仍可恢复他们的虫黄藻。然而，如果温度应激继续下去，珊瑚就可能死亡。

来源：Marshall P, Schuttenberg H. 2006. A reef manager's guide to coral bleaching. Townsville, Australia: Great Barrier Reef Marine Park Authority; p. 7.

他在遍及维尔京岛国家公园的珊瑚礁点开展年度调查，维尔京岛国家公园从圣约翰向外伸展到海面区域。但是当海水温度从28、29℃上升到超过30℃，导致一些珊瑚脱色时，Miller付出了4倍的监测工作量以观察珊瑚礁如何变化。在透明的大海水面下，当珊瑚脱色爆发时，出乎他和他同事的预料，他们观察到脱色迅速增加。接下来，正当珊瑚开始恢复时，疾病侵袭，给予珊瑚致命的打击。后来，美国地理勘察协会的研究员、与Rogers一起工作的Erinn

Muller量化了来自疾病的死亡率，计数超过6000个疾病斑（或“损伤”）

如果Miller和Muller没有加强监测计划，就不会得到东加勒比海珊瑚脱色、疾病和死亡之间的联系。“新暴露的珊瑚骨架迅速被‘草皮状海藻’长满，那么你就不能确认什么导致了死亡。” Miller解释说，“如果我们不扩大监测范围，我们可能已假设脱色破坏了珊瑚礁，但情形不是这样的。我们过去将疾病视为慢性、低水平死亡的起源。这次爆发显示，短期内疾病能

够成为灾难性和破坏性的。”

佛罗里达Palmetto海湾国家公园管理处的南佛罗里达/加勒比海网络协调人Matt Patterson称，Miller和Muller的工作传达了一个紧迫的信息：疾病能够以远远高于我们以前假设的速度破坏珊瑚礁。他还补充道，这说明科学家了解海水变暖对珊瑚健康的影响知道得甚少。

珊瑚脱色和海水变暖之间的联系相当好的建立起来了，但科学家仍不能就升高的海水温度如何产生这一影响达成一致。Hoegh-Guldberg称海水变暖可能触发弧菌属细菌释放杀虫虫黄藻的毒素。然而，一些人称热应激珊瑚释放出酸性自由基驱除藻类。另有一些人相信两种推理似乎都合理。同时，海水变暖和疾病之间的联系只是最近才吸引了科学家，尽管情形同样复杂；疾病并不一直跟随脱色产生，有时候在不出现海水变暖时疾病也会发生。

康奈尔大学（Cornell University）生态学和进化生物学教授、珊瑚礁研究项目珊瑚疾病工作组负责人Drew Harvell称，东加勒比海珊瑚疾病在温度异常后爆发的事实，支持了两者之间存在原因不明的相关性之假设。“目前，海水变暖和珊瑚中传染性疾病之间的联系正越来越多地建立起来，”她说，“东加勒比海的那次爆发是大规模的，是我们所知的在这一地区中出现的最大的一次。我担忧的是这也是某些事情将要发生的预兆。”

#### 精确定位的病原体

与其他兽类疾病相似，珊瑚疾病由传染性病原体引起，如细菌、病毒和真菌。但珊瑚病理学领域处于初期，到目前为止可能仅研究与特定微生物相关的许多疾病中的五种。东加勒比海爆发期间最普通的疾病是结核病，之所以这样命名是因为这种疾病破坏组织并且暴露出珊瑚的乳白色骨架。结核病据称是由橙单胞菌属细菌引

起，占这次爆发中珊瑚疾病的98%，影响脑珊瑚集落和更普通的大圆石星珊瑚。另一种称为乳白痘的疾病可增加猎鹿犬珊瑚（轴孔珊瑚）疾患的严重程度。这种珊瑚曾经遍及加勒比海形成大规模的结合集落，目前在濒临灭绝物种法案中已被列为受威胁物种。（乳白痘与粘质沙雷氏菌相联系，粘质沙雷氏菌是一种普遍存在的来自人类消化道的细菌。一些科学家推测这种疾病可通过污物污染爆发，但到目前为止，没有现场证据支持这种假设。）

科学家推测，海水变暖后通过应激反应、使珊瑚对传染病开放而发病。如果说疾病是随着珊瑚脱色而产生，脱色剥夺了珊瑚的碳营养素，使得它们依赖于使用触须所能抓获的任何经过的生物，那么这种推测尤其正确。“这类似于这样的情况：如果你每周工作70小时，连续数周没有好的饮食和休息，会发生什么呢？”

在人类中，应激通过耗损免疫力引起疾病。证据表明，这对于珊瑚来说也可能是适用的。在未公布的研究中，佛罗里达萨拉索塔Mote Marine实验室的微生物学家Kim Ritchie最近发现，较高的温度可在珊瑚的微生物组织中引发潜在的致命性改变。正常情况下，珊瑚被包裹在粘性生物被膜中，生物被膜装载有益的可产生抗菌素的细菌（“益生菌”）对抗其他致病菌株。但当水温上升时，益生菌消失。“你只是无法发现它们，”Ritchie补充说，“它们消失时，珊瑚礁病原体可侵入并造成破坏。”

在实验室工作中，Ritchie正设法寻找哪种细菌能控制病原体以及如何控制。那些研究对于揭示珊瑚免疫力的根本方面可做很多工作。但是他们也提出一种处理的前景：在养鱼池研究中，Ritchie和她的同事们正在研究运用益生菌将疾病控制在海湾中的可行性。Ritchie指出，益生菌对于珊

瑚生态系统是天然的。另外，她说，益生菌在水产业中有安全的使用历史。在水产业中，它们在大西洋大马哈鱼饲养中被用于控制病原体。

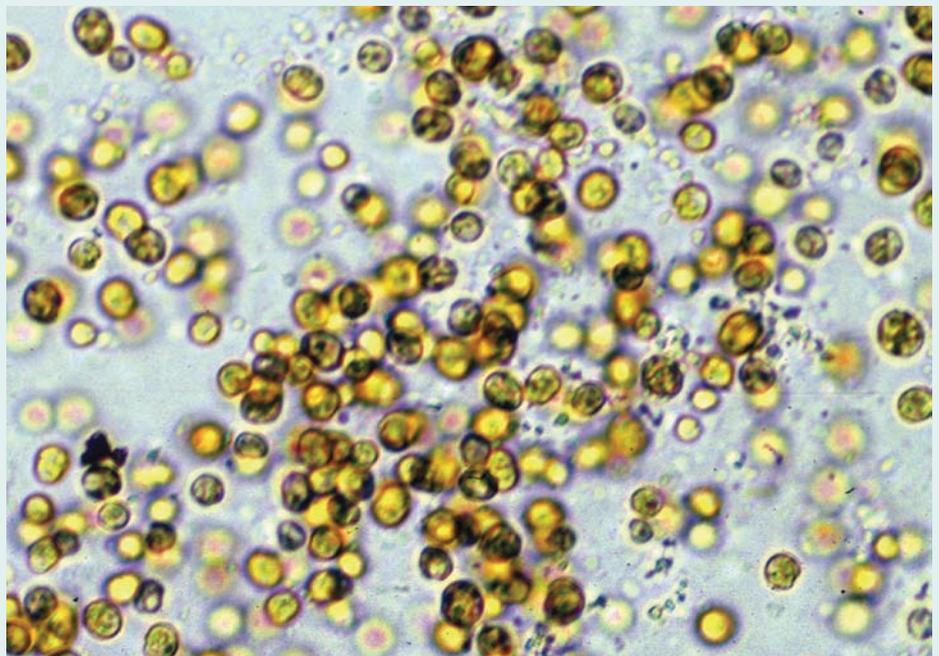
同时，位于圣彼得斯堡的佛罗里达美国地理勘察协会的环境微生物学家Christina Kellogg和以色列特拉维夫大学（Tel Aviv University）的分子微生物学及生物技术教授Eugene Rosenberg正独立研究不同的依靠噬菌体的处理方法。不同于光谱抗生素，这些噬菌体通常只杀灭单一目标菌株的细菌。噬菌体长久以来被俄罗斯和巴尔干半岛的医生用作人类药物。在西方，十九世纪五十年代抗生素出现后，噬菌体不再受欢迎。Rosenberg称已发现两种杀灭包括致结核杆菌样疾病细菌在内的珊瑚病原体的噬菌体。根据这些发现，他推断，有朝一日珊瑚疾病可能会被噬菌体治好。

Harvell称赞这项作为，“非常好的、令人兴奋的先驱性工作，”尽管她指出，

“应用的可能性会有很长的路要走。”然而，Ritchie指出噬菌体疗法的一个缺点：

“肯定既不是一种也不是少数病原体导致疾病，而是多种利用应激珊瑚并促进疾病进程的细菌导致疾病，”她说，“噬菌体对特定的细菌株具有特异性，因此，研究者将不得不对每个潜在的珊瑚病原体各分离并培养一种噬菌体，这是不可能的。”另一方面，她指出，噬菌体疗法和利用有益细菌来控制病原体的研究可在了解珊瑚健康方面获得重要的进步。

但是，一些著名的澳大利亚研究人员就在如此大的范围治疗珊瑚疾病的可行性和安全性有争论。“历史受到生物学和生态学的干预，这些干预解决不了问题，更多时候它们造成灾难性的失败，”澳大利亚汤斯维尔大堡礁群公园管理局气候变化组主任 Paul Marshall说，“与缓解其进程相比较，在生态系统规模上干预生理学进程将导致更多的风险。”



完美的伙伴。这张光学纤维照片显示由米色珊瑚培养出的共生甲藻属虫黄藻。这种微小的虫黄藻生活在多数种类的珊瑚虫内。它们给予珊瑚颜色，更重要的是，通过提供珊瑚由光合作用生成的食物帮助珊瑚生存。反过来，珊瑚虫提供虫黄藻监护环境及其进行光合作用需要的营养。

Hoegh-Guldberg相信生物学干预将不起作用，因为，以他的观点，珊瑚疾病并非像Rosenberg和其他一些人提出的那样是由原发性病原体导致的。相反，他提出，珊瑚疾病只是在热应激导致的反应将通常无害的细菌转化成条件致病菌时触发的二次感染。

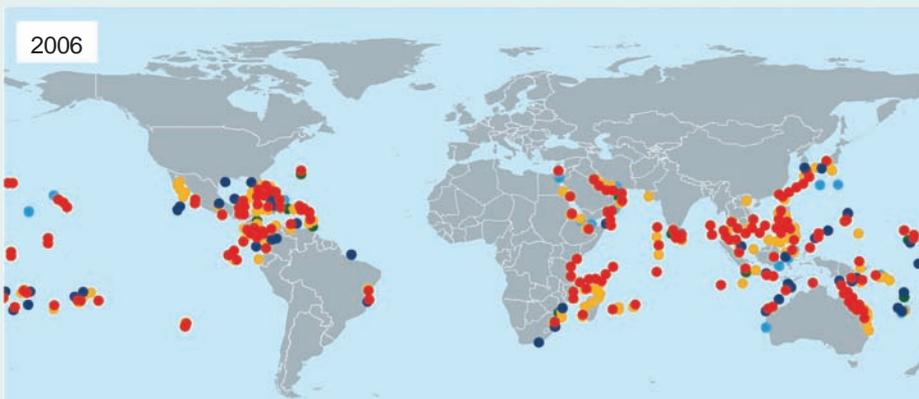
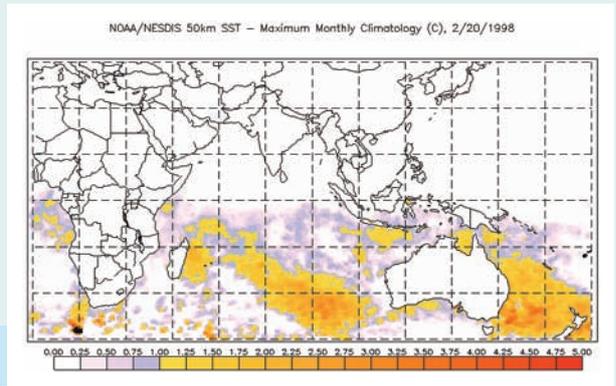
此外，Hoegh-Guldberg主张，即使医学治疗被确认有效，运用它们将资源置于危险中并不可行。他指出世界上的珊瑚礁估计覆盖近30万平方公里；他说，治理这么大面积珊瑚礁的远景令人难以置信。“简单的说，”他总结道，“能治理珊瑚礁危机的途径不多。我们不得不做的主要事情是

大规模地降低温室气体排放到大气中。这是当务之急。”

#### 目前的挑战

限制温室气体对珊瑚有好处这一观点，几乎是没有任何争议，而Miller说，更直接的目标应该是阻断那些每天杀害它们的已知应激物，如：污染物、污水污染以及来自没有铺石砖的道路和土地开发的沉淀物。贯穿整个热带，土地开发使沿海的山坡中形成深的沟壑，产生滚入海洋的泥土流。这种泥土流在到达海洋前有一部份被漂浮的“泥浆

幕”所截获。但这种方法现在几乎不再使用，或者使用时安装得不正确。因此，沉淀物沉降在珊瑚礁上，导致了一连串的后果。C. Mark Eakin说由于虫黄藻缺失而变弱的脱色珊瑚礁对于不断增加的沉淀物负荷的刺激特别易受伤害，Eakin是国立海洋



● 没有脱色    ● 少数脱色    ● 中度脱色    ● 严重脱色    ● 未知

珊瑚脱色事件的全球趋势。从上个世纪开始，珊瑚脱色事件的范围和严重程度在增加。1998年以前，珊瑚脱色事件在世界上多数主要珊瑚礁存在的地区被记载，但很少有珊瑚礁经历过严重的脱色。然而，从1998年开始，每个珊瑚礁存在的地区已经历了严重的脱色事件，许多地区遭受明显的脱色引起的珊瑚死亡。

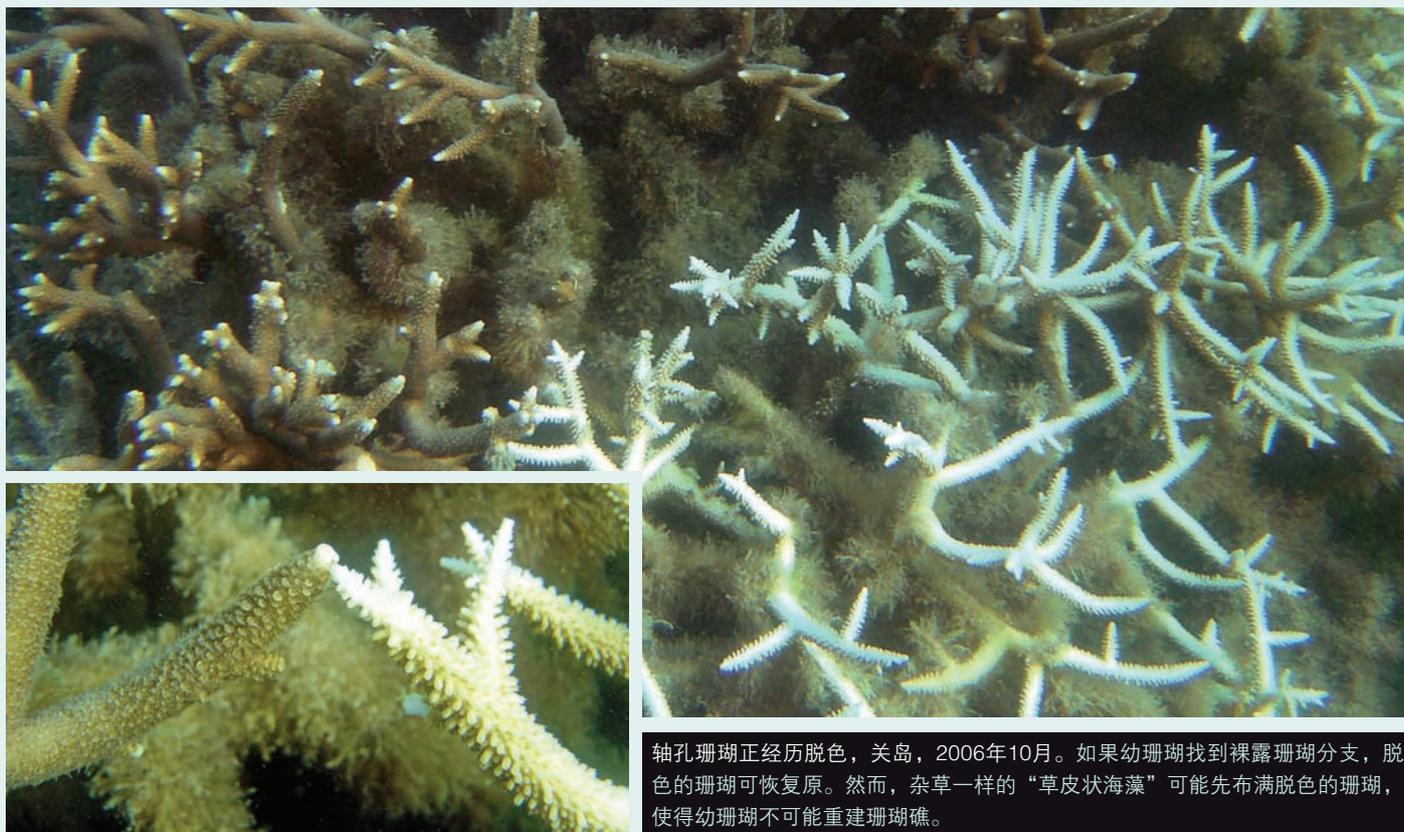
来源：Marshall P, Schuttenberg H. 2006. A reef manager's guide to coral bleaching. Townsville, Australia: Great Barrier Reef Marine Park Authority; p.5.

NOAA的东半球高温区域图，1998年2月20日。1998年升高的海水温度引发了迄今为止最严重的珊瑚脱色事件。根据科学家关怀社会联盟的资料，脱色事件在全世界60个国家中得到报道，印度洋珊瑚受到影响最严重。延续数天到数周的1~2°C的温度异常应该警示珊瑚礁管理者，发生脱色事件从中等危险度变为高危。

来源：NOAA

和大气管理局（NOAA）的珊瑚礁观察协调员。他解释说：“珊瑚要花费它们有限的能量来清除沉淀物而不是捕获食物。”Eakin又说，沉淀物会形成另一个问题，它们会覆盖在骨骼礁的表面，那是珊瑚幼虫会停留并定居的地方。在有珊瑚的地方，杂草丛生的草地海藻就会迁入并进一步阻碍健康珊瑚礁的生长和发育。

在澳大利亚昆士兰James Cook大学攻读博士学位的Heidi Schuttenberg断言，由NOAA及其它机构共同制订的珊瑚礁管理办法，在高温热应激期间限制人类接触，可有助于珊瑚保存能量以克服脱色以及其它与热相关的健康问题。她解释说：“当脱色珊瑚挨饿时，我们当然要帮助它们存



轴孔珊瑚正经历脱色，关岛，2006年10月。如果幼珊瑚找到裸露珊瑚分支，脱色的珊瑚可恢复原。然而，杂草一样的“草皮状海藻”可能先布满脱色的珊瑚，使得幼珊瑚不可能重建珊瑚礁。

活。由捕捞或鱼翅碰撞引起的沉淀物对漂白珊瑚特别有害。脱色的珊瑚要经历一段时间的恢复，在这段时间内产卵和繁殖幼虫，这会是珊瑚生命周期中最易受伤害的周期之一。”

Marshall和Schuttenberg建议，应在有珊瑚的海岸线沿线采取保护措施，特别是针对复原中的珊瑚，要用最大努力使之能够长期茁壮成长。至于怎样使珊瑚恢复，他们都说，脱色后能存活下来是决定性的因素。其他重要因素与专家们所谓的连接性有关，这包含接近深的、凉的涌流，这些涌流可从“源珊瑚礁”带来大量的珊瑚幼虫。

Billy Causey是在佛罗里达基韦斯特的NOAA国家海洋保护计划的东南地区主管，他鼓励潜水用品商店、挖泥机司机（在海里清除沉淀物疏浚航道）和其他商业部门，在珊瑚脱色危险高发的时期应避开恢复中的珊瑚礁。他说，到目前为止他们都

表示愿意合作。Causey又说，他监管的整个佛罗里达基韦斯特国家海洋保护所已被NOAA和佛罗里达州指定为“海洋保护区（MPA）”，只要理由正当，他也可以根据法律限制人们接触珊瑚礁。他说：“我们不想影响他们的营业，但如果当珊瑚受到威胁时他们去那里就会产生问题。”

世界各地的MPA都是政府保护受威胁的海洋资源的主要手段。Camilo Mora是加利福尼亚圣地亚哥海洋学Scripps研究所的博士后，他在该领域的调查发表在2006年6月23日的《科学》（*Science*）杂志上，他说将近20%的世界珊瑚礁在MPA内，这些区域提供的保护在国家间和同一国家不同地区区间都是不同的。Mora说，MPA的执行仍然松懈且缺乏管理，尤其缺少对捕鱼方面的限制。

在珊瑚礁的健康中鱼类扮演了重要的角色。比方说食草种类例如鹦嘴鱼在侵入

珊瑚礁表面的杂草丛生的草地海藻上吃草，因此给幼虫提供了繁殖的环境。现在，由于过度捕捞使得美食需要的珊瑚礁品种例如石斑鱼减少了，鹦嘴鱼变得很受欢迎。Miller又说，具有讽刺意味的是鹦嘴鱼曾被看作是一种垃圾品种而被摒弃。在《自然》（*Nature*）2007年11月1日刊上，英国Exeter大学海洋生态学的教授Peter Mumby发表了一篇文章呼吁紧急行动来保护鹦嘴鱼以防止珊瑚礁上过度生长海藻和海草。

但在美国，MPA通常根本不限制捕鱼，使得这项任务更迫切且“海洋储备”更少，在“海洋储备”里资源提取是被禁止的。Causey说，由于受影响的相关利益者包括业主的对抗，建立MPA和海洋储备具有政治挑战性。比方说，为了创建佛罗里达基韦斯特的MPA花了很多年的时间，牵涉到的单位达20余家。

Miller和Rogers现在都疑惑由气候变化



大圆石珊瑚的丧失进程，Buck岛暗礁国家纪念碑，美国维尔京岛。(1) 脱色前的健康珊瑚；(2) 正经历脱色的珊瑚；(3) 脱色后遭受疾病的珊瑚。插图显示相同部分的疾病中的珊瑚(3a)和死亡后的珊瑚(3b)。



3a



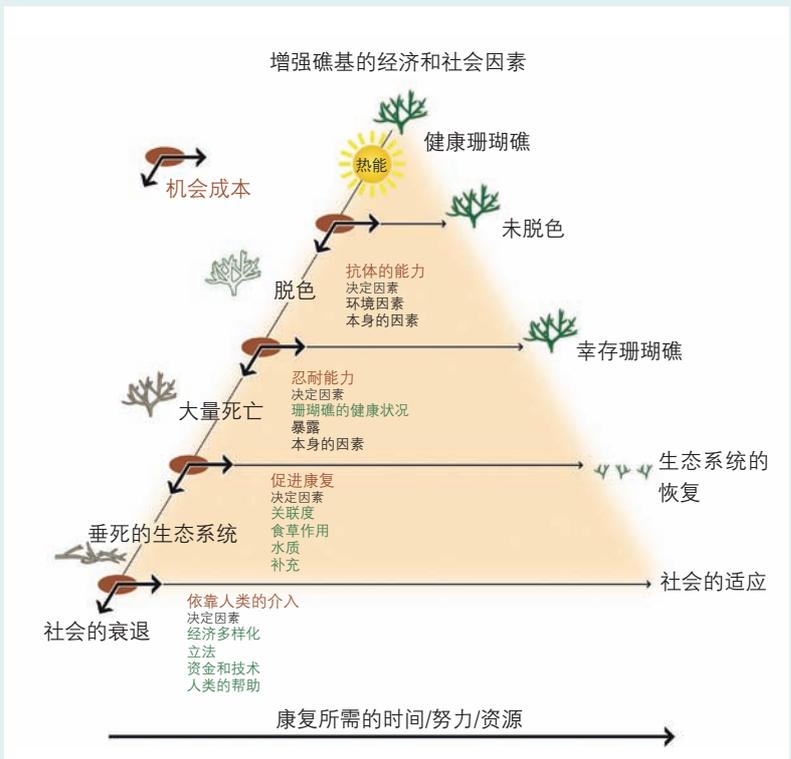
3b

产生的威胁是否会动摇MPA和海洋储备的政治支持，因为气候变化由多种原因产生不受局部控制。Miller说：“这里的2005~2006年珊瑚脱色事件非常普遍，已经超越了行政指定范围如国家、领土或MPA，它在整个区域有大块的足迹。所以我们的忧虑是这些变暖相关的损失可能影响人们的感受：MPA对于人们所期望的保护资源的工作是否做得很成功了。如果你是个政治家，可能很难去证明MPA能够承受这种类型的事件。”

从珊瑚礁减少的第一线，Miller和Rogers也看到当地商人悲叹珊瑚的损失，但也似乎非常不愿意接受减缓珊瑚缺失带来的费用。研究者认为让商人关注气候变化或者甚至是防晒液的残留对珊瑚的毒性（在2008年4月出版的EHP中有描述）比让他们接受对铺路、限制污水和腐烂物的排放的财政责任或是承担其他更严厉的方法来保护珊瑚礁更为容易。这是因为前者不需要商人做任何事。同时，研究者承认，忽视珊瑚礁的境况实在是太容易了，因为这些珍贵的资源躺在海面下是眼不见，而且对于太多的人更是心不烦。

-Charles W. Schmidt

译自 EHP 116:A292-A299 (2008)



珊瑚礁管理干预的时机。四个条件决定珊瑚礁能多好的度过热应激：脱色抵抗力，珊瑚耐受力，珊瑚礁复原和人类适应能力。每个条件受一系列因素影响。一些因素能通过当地的管理活动受到影响（在上图中显示为绿色），而一些却不能（在上图中显示为黑色）。

来源：Marshall P, Schuttenberg H. 2006. A reef manager's guide to coral bleaching. Townsville, Australia: Great Barrier Reef Marine Park Authority; p. 10.